

**PENGARUH TEMPERATUR TEMPERING TERHADAP KEKERASAN
PADA BAJA KARBON SEDANG S45C**

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Persyaratan Untuk Menyelesaikan Program Strata Satu
Pada Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif Jurusan Teknik
Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang*



Oleh

**FEBRO MAIDEFRI
NIM. 13836/2009**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF
JURUSAN TEKNIK OTOMOTIF
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2013**

PENGESAHAN SKRIPSI

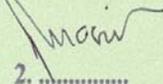
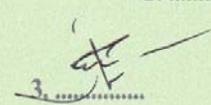
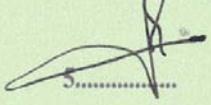
*Dinyatakan Lulus Ujian Setelah Dipertahankan Didepan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif Jurusan Teknik Otomotif
Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang*

**Judul : Pengaruh Temperatur Tempering Terhadap
Kekerasan Pada Baja Karbon S45C**

**Nama : Febro Maidefri
NIM/BP : 13836/2009
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif
Jurusan : Teknik Otomotif
Fakultas : Teknik**

Padang, Agustus 2013

Tim Penguji

| Tim Penguji | Nama | Tanda Tangan |
|--------------------|-------------------------------|--|
| 1. Ketua | Drs. Daswarman, M.Pd | 1.  |
| 2. Sekretaris | Drs. M. Nasir, M.Pd | 2.  |
| 3. Anggota | Drs. Martias, M,Pd | 3.  |
| 4. Anggota | Irma Yulia Basri, S.Pd, M.Eng | 4.  |
| 5. Anggota | Wagino, S.Pd | 5.  |

ABSTRAK

Pengaruh Temperatur Tempering Terhadap Kekerasan Pada Baja Karbon Sedang S45C.

OLEH : Febro Maidefri (2009):

Pengaruh perlakuan panas *tempering* adalah merupakan proses pemanasan logam (baja) yang telah dikeraskan sampai temperatur tertentu untuk mengurangi kekerasan baja, struktur *martensit* yang sangat keras, sehingga terlalu getas. Baja Karbon sedang memiliki komposisi kimia: 0,30% C–0,60% C dan sifat mekanik material baja karbon sedang ini dipengaruhi oleh struktur mikro dan perlakuan yang diterimanya. Perlakuan yang diberikan pada material baja karbon sedang ini akan menghasilkan nilai kekerasan, keuletan, dan kekuatan yang berbeda. Untuk meningkatkan kualitas baja tersebut maka diberi perlakuan panas yaitu *hardening* yang selanjutnya dilakukan proses *tempering*. Proses *tempering* dilakukan dengan Temperatur 200⁰C, 400⁰C, dan 600⁰C kemudian dilakukan pengujian kekerasan *Brinell*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh temperatur *tempering* terhadap kekerasan pada baja S45C.

Metode yang digunakan sebagai pendekatan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendalikan. Objek penelitian berupa Spesimen uji yang berjumlah 12 buah dan dikelompokkan menjadi 4 kelompok. Spesimen kelompok I tidak diberikan perlakuan, sementara kelompok II spesimen yang *ditempering* temperatur 200⁰C, kelompok III *ditempering* temperatur 400⁰C, sedangkan kelompok IV *ditempering* temperatur 600⁰C. Media pendingin yang digunakan adalah Udara.

Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa terjadinya peningkatan kekerasan pada baja karbon sedang S45C yang *ditempering* dengan temperatur 200⁰C yang memiliki nilai kekerasan 403,99 *BHN* atau sekitar 132,63%, temperatur 400⁰C yang memiliki nilai kekerasan 356,77 *BHN*, atau sekitar 105,44% dan temperatur 600⁰C yang memiliki nilai kekerasan 298,44 *BHN*, atau sekitar 71,85% dibandingkan dengan rata-rata specimen awal tanpa perlakuan yang memiliki nilai kekerasan 173,66 *BHN*.

Berdasarkan analisa di atas dapat di simpulkan bahwa baja karbon sedang S45C yang *ditempering* dengan temperatur 200⁰C, 400⁰C, dan 400⁰C terjadi peningkatan kekerasan. dan menunjukkan bahwa nilai kekerasan, dipengaruhi oleh temperatur *tempering*.

KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT karena telah memberikan Rahmat dan petunjuknya yang begitu besar dan nyata, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini yang berjudul : **“Pengaruh Tempertur Tempering Terhadap Kekerasan Pada Baja Karbon Sedang S45C”**.

Penyusunan Skripsi ini bertujuan untuk melengkapi salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S1) Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif di Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Dalam penulisan Skripsi ini, tidak terlepas bantuan dari berbagai pihak sehingga dengan bantuan tersebut Skripsi ini dapat diselesaikan. Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dengan hati yang tulus ikhlas kepada :

1. Kedua orang tua tercinta yang telah memberikan arahan dan dukungan, baik secara moril maupun materil dalam penyelesaian Skripsi ini.
2. Bapak Drs. Daswarman, M.Pd selaku Pembimbing I yang membimbing dan memberikan arahan dalam Skripsi ini.
3. Bapak Drs. M. Nasir, M.Pd selaku Dosen Pembimbing II dan juga Penasehat Akademik yang membimbing dan memberikan masukan dalam Skripsi ini.
4. Bapak Drs. Ganefri, M.Pd, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
5. Bapak Drs. Martias, M.Pd selaku Ketua Jurusan Teknik Otomotif.

6. Ibuk Irma Yulia Basri, S.Pd, M.Eng selaku Sekretaris Jurusan Teknik Otomotif.
7. Bapak dan Ibuk Dosen Jurusan Teknik Otomotif FT UNP.
8. Bapak Drs. Syahrul, M.Si yang telah membantu dalam penelitian skripsi ini.
9. Keluarga dan sanak famili yang sangat penulis sayangi dan banggakan.
10. Sahabat, rekan-rekan dan semua pihak yang banyak membantu dan berpartisipasi dalam Skripsi ini.

Semoga Allah SWT membalas jasa Bapak dan Ibuk serta rekan-rekan semua Amiennn.....

Penulis menyadari dalam Skripsi ini takkan luput dari kekhilafan dan masih terdapat kekurangan dikarenakan keterbatasan dan kemampuan penulis, untuk itu dengan kerendahan hati, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dan memperbaiki demi kesempurnaan di masa yang akan datang.

Padang, Agustus 2013

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| ABSTRAK | i |
| KATA PENGANTAR..... | ii |
| DAFTAR ISI..... | iv |
| DAFTAR GAMBAR..... | vi |
| DAFTAR TABEL | vii |
| DAFTAR LAMPIRAN | viii |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| A. Latar Belakang | 1 |
| B. Identifikasi Masalah..... | 5 |
| C. Batasan Masalah | 5 |
| D. Rumusan Masalah..... | 6 |
| E. Tujuan Penelitian | 6 |
| F. Mamfaat Penelitian | 6 |
| | |
| BAB II KAJIAN TEORI | |
| A. Deskripsi Teori | 7 |
| B. Penelitian Yang Relevan..... | 36 |
| C. Kerangka Konseptual..... | 37 |
| D. Pertanyaan Penelitian..... | 38 |
| | |
| BAB III METODE PENELITIAN | |
| A. Desain Penelitian | 39 |
| B. Defenisi Operasional..... | 40 |
| C. Variabel Penelitian..... | 40 |
| D. Objek Penelitian..... | 41 |
| E. Jenis dan Sumber Data..... | 42 |
| F. Instrumen Pengumpulan Data..... | 42 |
| G. Teknik Pengumpulan Data..... | 43 |
| H. Jadwal dan Prosedur penelitian..... | 45 |

| | |
|---|-----------|
| I. Teknik dan alat pengumpulan data | 46 |
| J. Teknik Analisis Data | 47 |
| BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN | |
| A. Data Hasil Penelitian | 49 |
| B. Analisis Data..... | 51 |
| C. Pembahasan | 53 |
| BAB V PENUTUP | |
| A. Kesimpulan | 60 |
| B. Rekomendasi..... | 61 |
| DAFTAR PUSTAKA | 62 |
| LAMPIRAN..... | 64 |

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|--|---------|
| 1. Struktur Dan Sifat-Sifat Baja Karbon Sebelum Pengerasan..... | 17 |
| 2. Alat Uji Kekerasan | 35 |
| 3. Pengujian Brinell..... | 36 |
| 4. Karangka Konseptual | 38 |
| 5. Spesimen Uji | 41 |
| 6. Prosedur Penelitian..... | 45 |
| 7. Bagan perbandingan kekerasan sebelum dan setelah proses <i>Tempering</i> | 50 |
| 8. Bagan perbandingan Rata-rata kekerasan baja karbon sedang S45C sebelum dan Sesudah perlakuan..... | 53 |
| 9. Bagan perbandingan Rata-rata kekerasan baja karbon S45C tanpa perlakuan | 54 |
| 10. Bagan persentase peningkatan kekerasan, tempering pada temperatur 200 ⁰ C | 55 |
| 11. Bagan persentase peningkatan kekerasan, tempering pada temperatur 400 ⁰ C | 56 |
| 12. Bagan persentase peningkatan kekerasan, tempering pada temperatur 600 ⁰ C | 57 |

DAFTAR TABEL

| Tabel | Halaman |
|--|----------------|
| 1. Suhu Penyepuhan | 28 |
| 2. Pola Penelitian..... | 39 |
| 3. Data Kekerasan Speciment Tanpa Perlakuan | 46 |
| 4. Data Kekerasan Speciment Tempering Dengan Temperatur 200 ⁰ C | 46 |
| 5. Data Kekerasan Speciment Tempering Dengan Temperatur 400 ⁰ C | 46 |
| 6. Data Kekerasan Speciment Tempering Dengan Temperatur 600 ⁰ C | 47 |
| 7. Data Hasil Pengujian Kekerasan Baja S45C Sebelum perlakuan | 49 |
| 8. Data Hasil Pengujian Kekerasan Baja S45C Setelah Tempering Dengan Suhu 200 ⁰ C | 49 |
| 9. Data Hasil Pengujian Kekerasan Baja S45C Setelah Tempering Dengan Suhu 400 ⁰ C | 49 |
| 10. Data Hasil Pengujian Kekerasan Baja S45C Setelah Tempering Dengan Suhu 400 ⁰ C | 50 |
| 11. Data Hasil Pengujian Kekerasan Baja S45C Sebelum Perlakuan..... | 51 |
| 12. Data Hasil Pengujian Kekerasan Baja S45C Setelah Tempering Dengan Suhu 200 ⁰ C | 51 |
| 13. Data Hasil Pengujian Kekerasan Baja S45C Setelah Tempering Dengan Suhu 400 ⁰ C | 52 |
| 14. Data Hasil Pengujian Kekerasan Baja S45C Setelah Tempering Dengan Suhu 600 ⁰ C | 52 |

DAFTAR LAMPIRAN

| Lampiran | Halaman |
|---|----------------|
| 1. Surat Izin Penelitian Dijurusan Teknik Mesin | 64 |
| 2. Dokumentasi Penelitian..... | 65 |
| 3. Data Hasil Pengujian Kekerasan | 73 |
| 4. Surat Bukti Telah Melakukan Penelitian..... | 75 |

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan dunia industri yang semakin maju, banyak kalangan dunia industri yang menggunakan logam sebagai bahan utama operasional atau sebagai bahan baku produksinya. Hingga saat ini terdapat berbagai jenis logam yang dapat digunakan sebagai bahan baku industri. Jenis-jenis yang sangat beragam kadang-kadang menyulitkan konsumen untuk memilih mana yang tepat dalam penggunaannya. Bahan yang satu mempunyai keunggulan ditinjau dari segi keuletan, kekerasan, kekuatan, lainnya tahan terhadap korosi, mulur atau suhu kerja yang tinggi namun cukup mahal. Oleh karena itu, dalam hal pemilihan sering tidak semata-mata berdasarkan pertimbangan teknis, ekonomis, namun ramah lingkungan memegang peranan yang sangat penting pula. Ini mendorong para pelaku dunia industri untuk meningkatkan kualitas dari logam yang dibutuhkan konsumen.

Hingga saat ini terdapat berbagai jenis logam yang dapat digunakan sebagai bahan baku industri. Terutama bila dilihat dari perkembangan produksi permesinan dan bidang otomotif, maka kebutuhan besi atau baja mulai dari kualitas yang paling rendah sampai yang paling tinggi dirasakan semakin meningkat penggunaannya, salah satunya yaitu baja karbon sedang sangat luas sekali penggunaannya terutama pada bidang konstruksi yaitu

rangka kendaraan, baut, plat maupun di bidang otomotif yaitu pembuatan poros, roda gigi, pegas dan komponen otomotif lainnya.

Komponen bagian mesin sering dijumpai suatu bahan yang diperlukan kekerasan dan keliatannya. Misalnya baja tipe S45C yang digunakan pada poros transmisi dan roda gigi. Roda Gigi didalam dunia industri mempunyai peranan yang sangat penting. Hal ini dikarenakan sejak dahulu sampai sekarang roda gigi merupakan komponen yang tidak dapat digantikan disetiap mesin produksi atau perkakas dalam dunia industri. Selama ini banyak sekali pengembangan-pengembangan yang dilakukan oleh para peneliti agar dalam pembuatan roda gigi menghasilkan roda gigi yang baik, hal ini disebabkan dalam dunia industri banyak sekali roda gigi yang rusak, aus, patah, dikarenakan roda gigi tersebut tidak kuat terhadap gesekan dan tekanan yang dihasilkan saat dua roda gigi bersinggungan pada saat mesin bekerja.

Saat mengalami perpindahan *persneling* (perpindahan gigi), poros transmisi dan roda gigi mengalami beban puntir. Komponen tersebut juga harus mempunyai sifat lentur, karena dengan sifat lentur ketika terjadi perpindahan transmisi, diharapkan dapat mengurangi hentakan keras pada saat roda gigi mengalami perkaitan. Gabungan antara beban puntir dan lentur, juga diperlukan pada saat transmisi dan roda gigi mengalami beban berat dan putaran tinggi. Dengan mempertimbangkan kondisi di atas, maka diinginkan suatu konstruksi bahan yang keras pada permukaan dan ulet pada intinya untuk mencegah kerusakan.

Permasalahan yang kerap kali terjadi pada suatu logam adalah seringnya produk tersebut mengalami kerusakan, misalnya: produk tersebut mengalami patah akibat menerima pembebanan, keausan akibat gesekan dan terjadinya korosi. Sehingga produk tersebut mengalami rusak atau cacat. Dengan demikian pemakaian produk tersebut tidak bertahan lama. Hal ini mempengaruhi unsur pakai produk tersebut menjadi relatif pendek. Dan aplikasi pemakaiannya, semua struktur logam akan terkena pengaruh gaya luar berupa tegangan, gesekan, tekanan sehingga menimbulkan *deformasi* atau perubahan bentuk.

Mengatasi hal tersebut, dapat dilakukan dengan cara memperbaiki sifat dari baja itu sendiri, yaitu dilakukan dengan proses *heat treatment* (perlakuan panas), hal ini memegang peranan penting dalam upaya meningkatkan kualitas baja sesuai kebutuhan. Proses ini meliputi pemanasan baja pada suhu tertentu, dipertahankan pada waktu tertentu dan didinginkan pada media tertentu pula. perlakuan panas mempunyai tujuan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal, menghaluskan butir kristal, meningkatkan kekerasan, meningkatkan tegangan tarik logam, merubah struktur dalamnya dan sebagainya,

Tujuan ini akan tercapai seperti apa yang diinginkan jika memperhatikan faktor yang mempengaruhinya, seperti temperatur pemanasan, waktu pemanasan dan media pendingin yang digunakan. Proses *heat treatment* (perlakuan panas) diantaranya yaitu *hardening*, *annealing*, *normalizing*, *tempering*, dan sebagainya. Dikarenakan proses *heat treatment* terdiri dari

beberapa proses maka penelitian yang dilakukan pada salah satu proses saja yaitu proses *tempering*. Tujuan dari *Tempering* adalah untuk meningkatkan keuletan dan mengurangi kerapuhan.

Perkembangan teknologi terutama dalam pengerasan logam mengalami kemajuan yang sangat pesat, untuk memenuhi tuntutan konsumen dalam teknik pengerasan logam ini peneliti mencoba mengangkat permasalahan sejauh mana tingkat kekerasan baja karbon sedang yang *ditempering* dengan temperatur yang berbed-beda yang mana sebelumnya dilakukan proses *hardening*. Alasan yang mendasari peneliti mengambil baja karbon sedang karena baja tersebut banyak dipergunakan dalam bidang teknik atau industri, sehingga cocok untuk komponen yang membutuhkan kekerasan, keuletan, maupun ketahanan terhadap gesekan.

Amanto Dan Daryanto (2003: 63) menyatakan, “Perlakuan panas (*heat treatment*) adalah proses memanaskan bahan sampai suhu tertentu dan kemudian didinginkan dengan metode tertentu”. Dari penjelasan di atas dapat ditegaskan bahwa perlakuan panas adalah paduan dua tahap kegiatan, yaitu pemanasan dan pendinginan. Adapun pendinginan yang biasa digunakan diantaranya air, oli, udara, pasir, air garam, dan pendingin didalam tungku, tergantung pada sifat apa yang diinginkan dimiliki oleh bahan. Dari berbagai jenis pendingin setelah perlakuan panas pada baja karbon sedang, maka peneliti mengambil media pendingin air setelah proses *hardening*, dan udara setelah proses *tempering*.

Berdasarkan latar belakang di atas, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian untuk melihat tingkat kekerasan pada baja karbon sedang S45C yang ditempering dengan temperatur yang berbeda-beda. Dengan ini peneliti memberi judul **“Pengaruh Temperatur Tempering Terhadap Kekerasan Pada Baja Karbon Sedang S45C”**.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, dapat diidentifikasi beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Jenis-jenis baja yang sangat beragam, menyulitkan konsumen untuk memilih mana yang tepat dalam penggunaannya.
2. Terjadinya kerusakan pada produk, misalnya produk tersebut mengalami patah akibat menerima pembebanan, keausan akibat gesekan dan terjadinya korosi, sehingga produk tersebut mengalami rusak atau cacat.
3. Terjadinya perubahan bentuk struktur logam pada baja akibat terkena pengaruh gaya luar berupa tegangan, tekanan dan gesekan.

C. Batasan Masalah

Untuk lebih terarahnya penelitian ini, maka permasalahan di batasi pada: **“Pengaruh Temperatur Tempering Terhadap Kekerasan Pada Baja Karbon Sedang S45C”**.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut: Seberapa besar pengaruh temperatur tempering terhadap kekerasan pada baja karbon sedang S45C.

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung persentase tingkat kekerasan baja karbon sedang S45C yang di *tempering* dengan temperatur yang berbeda-beda.

F. Mamfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Dapat menambah pengetahuan peneliti tentang proses perlakuan panas terhadap material.
2. Sebagai informasi bagi para pembaca yang ingin melanjutkan penelitian ini atau yang ingin melakukan penelitian dibidang ilmu teknologi bahan.
3. Dapat digunakan sebagai masukan bagi konsumen untuk memilih baja sesuai dengan kebutuhan.
4. Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Strata 1 (S1) Pendidikan Teknik Otomotif FT UNP.
5. Sebagai syarat untuk menyelesaikan studi S1 dijurusan Pendidikan Teknik Otomotif Universitas Negeri Padang.

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Deskripsi Teori

1. Bahan Logam

Logam adalah unsur kimia yang mempunyai sifat-sifat yang kuat, liat, keras, penghantar listrik dan panas, serta mempunyai titik cair tinggi. Menurut Amanto dan Daryanto (2003: 2), logam dapat dibagi dalam dua golongan yaitu logam besi (*ferro*) dan logam bukan besi (*nonferro*).

a. Logam besi (*ferro*)

Logam besi adalah suatu logam paduan yang terdiri dari campuran unsur karbon dengan besi. Untuk menghasilkan suatu logam paduan yang mempunyai sifat yang berbeda dengan besi dan karbon maka dicampur dengan bermacam logam lainnya, dan terdiri dari komposisi kimia yang sederhana antara besi dan karbon. Jenis logam besi adalah sebagai berikut: besi tuang, besi tempa, baja lunak, baja karbon sedang, baja karbon tinggi, baja karbon tinggi dengan campuran.

b. Logam bukan besi (*nonferro*)

Logam bukan besi yaitu logam yang tidak mengandung unsur besi (Fe). Terdiri dari: tembaga (Cu), aluminium (Al), timbel (Pb), timah (Sn).

2. Bahan nonlogam

Amanto dan Daryanto (2003: 4) mengemukakan, “Bahan non logam adalah suatu bahan teknik yang tidak termasuk kedalam kelompok logam yang didapat dari bahan galian, tumbuhan atau hasil dari proses pengolahan minyak bumi”. Bahan ini banyak digunakan pada industri permesinan, dari industri kecil sampai industri besar, pengolahan bahan-

bahan nonlogam lebih murah dibandingkan dengan bahan yang didapatkan dari pertambangan. Sehingga kalau ditinjau dari segi ekonomi dan proses, bahan nonlogam lebih murah dan cepat daripada bahan tambang. Bahan-bahan nonlogam antara lain asbes, karet, dan plastik.

3. Klasifikasi Baja

Menurut Amanto dan Daryanto (2003: 22) “Baja dapat didefinisikan suatu campuran dari besi dan karbon, di mana unsur karbon (C) menjadi dasar campurannya”. Disamping itu, mengandung unsur campuran lainnya seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), dan mangan (Mn) yang jumlahnya dibatasi.

a. Baja karbon

Menurut Haroen (1984: 4), “Baja Pada dasarnya adalah paduan besi-karbon dan unsur-unsur lainnya, yang mana kadar karbonnya tidak melebihi 2,0 %, sedangkan paduan besi-karbon di atas 2,0% merupakan besi tuang (*cast iron*)”. Terdapat ribuan paduan yang memiliki komposisi dan perlakuan panas yang berbeda. Sifat-sifat mekanik baja sangat bergantung kepada kandungan karbon yang dimilikinya. Semakin bertambahnya kadar karbon pada baja, kekerasan dan kekuatannya akan meningkat, sedangkan keuletan dan ketangguhannya akan menurun. Biasanya baja akan dikelompokkan menurut kadar karbon dan struktur mikro yang dikandungnya.

Pengelompokan baja menurut kadar karbonnya:

1) Baja Karbon Rendah (*Low carbon steel*)

Daswarman (2012: 50), mengemukakan, "Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung 0.10% - 0.30% karbon". Kandungan karbonnya yang rendah dan mikrostrukturnya yang terdiri dari fasa *ferit* dan *pearlit* menjadikan baja karbon rendah bersifat lunak dan kekuatannya lemah namun keuletan dan ketangguhannya sangat baik. Baja karbon rendah kurang responsif terhadap perlakuan panas untuk mendapatkan mikrostruktur *martensit*, maka dari itu untuk meningkatkan kekuatan dari baja karbon rendah dapat dilakukan dengan proses roll dingin maupun *karburisasi*. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung dalam baja, maka baja karbon rendah dapat digunakan atau dijadikan baja-baja sebagai berikut:

- a) Baja karbon rendah yang mengandung 0,04 % - 0,10 % C. Untuk dijadikan baja-baja plat atau strip.
- b) Baja karbon yang mengandung 0,05 % digunakan untuk keperluan badan-badan kendaraan.
- c) Baja karbon rendah yang mengandung 0,15 % - 0,30 % C digunakan untuk konstruksi jembatan, bangunan, membuat baut atau dijadikan baja konstruksi.

2) Baja Karbon Sedang (*Medium carbon steel*)

Menurut Daswarman (2012: 51), "Baja karbon sedang

memiliki konsentrasi karbon antara 0.30% karbon sampai dengan 0.60% karbon”. Untuk meningkatkan sifat-sifat mekaniknya, baja ini dapat diberikan perlakuan panas berupa, *quenching*, *tempering*, *annealing*. Baja jenis ini memiliki *hardenability* (mampu keras) yang rendah. Tapi membutuhkan kombinasi antara kekuatan tinggi, ketahanan aus, dan ketangguhan.

Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung dalam baja, maka baja karbon ini dapat digunakan untuk alat-alat sebagai berikut:

- a) Baja karbon yang mengandung 0,40 % karbon dapat digunakan untuk keperluan industri kendaraan misalnya untuk membuat baut-baut, mur, poros engkol, dan batang torak.
- b) Baja karbon yang mengandung 0,50 % karbon dapat digunakan untuk membuat roda gigi, palu, dan alat-alat penjepit.
- c) Baja karbon yang mengandung 0,55 % - 0,60 % karbon dipergunakan untuk membuat pegas-pegas.

3) Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Daswarman (2012: 52) mengemukakan, ”Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon antara 0.70 % sampai dengan 1,3 % karbon, dimana setiap satu ton baja karbon tinggi mengandung karbon antara 70 – 130 kg atau 130 kg”. Baja karbon ini banyak dipergunakan untuk pekerjaan-pekerjaan yang mengalami panas.

Baja Karbon ini dapat digunakan untuk:

- a) Baja karbon yang mengandung kira-kira 0,95 % karbon dapat digunakan untuk keperluan pembuatan pegas-pegas, alat-alat perkakas, palu gergaji dan pahat potong.
- b) Baja karbon mengandung 1 % - 1,5 % karbon dapat dipergunakan untuk pembuatan kikir, daun gergaji peluru, peluru, dan bantalan.

Baja karbon ini mempunyai sifat-sifat yang kurang baik yaitu makin tinggi mengandung karbon, maka sifat baja karbon ini makin getas. Merupakan jenis baja karbon yang paling keras, kuat, namun memiliki keuletan yang paling rendah dibandingkan dengan baja karbon lain.

b. Baja paduan (*Alloyed Steel*)

Amanto dan Daryanto (2003: 34), mendefinisikan

“Baja paduan adalah sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran seperti *nikel kromium, molibden, vanadium, mangan, dan wolfram* yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki (keras, kuat, dan liat), tetapi unsur karbon tidak dianggap sebagai salah satu unsur campuran”.

Baja paduan dihasilkan dengan biaya yang lebih mahal dari pada baja karbon karena bertambahnya biaya untuk penambahan pengerjaan yang khusus yang dilakukan didalam industri, namun demikian baja paduan digunakan karena keterbatasan baja karbon sewaktu dibutuhkan sifat-sifat yang spesial daripada baja, keterbatasan dari baja karbon adalah reaksi terhadap pengerjaan panas dan

kondisinya. Baja paduan terdiri dari:

- 1) Baja paduan rendah (*Low Alloy Steel*), merupakan baja paduan dengan kadar unsur paduan rendah yakni kurang dari 10%. Mempunyai kekuatan dan ketanguhan lebih tinggi dari pada baja karbon dengan kadar yang sama. Kekerasannya dan sifat tahan korosi pada umumnya lebih baik sehingga banyak digunakan sebagai baja konstruksi mesin.
- 2) Baja paduan tinggi (*High Alloy Steel*), merupakan baja paduan dengan kadar unsur paduan yang tinggi, mempunyai sifat khusus tertentu seperti baja tahan karat (*stainless steel*), baja perkakas (*tools steel*), misalnya *high speed steel* (HSS), baja tahan panas (*heat resisting steel*) dan lain-lain.

c. Unsur Campuran Dasar Pada Baja

Maksud campuran dasar pada baja adalah untuk mendapatkan sifat-sifat mekanis seperti kekuatan, keuletan, ketanguhan, tahan aus dan lain-lain pada produk akhir seperti yang diinginkan. Dikutip dari Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan (2003: 33), unsur campuran dasar pada baja adalah:

1) Silisium (Si)

Dapat menambah sifat elastis dan mengurangi perkembangan gas di dalam cairan baja, sehingga persenyawaannya lebih homogen. Makin besar unsur Si semakin sukar ditempa atau di

las. Baja dengan paduan *silisium* biasanya digunakan untuk membuat pegas.

2) Nikel (Ni)

Dapat mempertinggi kekuatan dan regangannya sehingga baja paduan ini menjadi liat dan tahan tarikan. Penambahan unsur *nikel* di dalam baja karbon berpengaruh pula terhadap ketahanan korosi. Oleh karena itu baja paduan ini biasa digunakan untuk bahan membuat sudu-sudu turbin, roda gigi, bagian-bagian mobil dan sebagainya.

3) Chromium (Cr)

Dapat memberikan kekuatan dan kekerasan baja lebih meningkat, tahan korosi dan tahan aus. Dengan sifat-sifat itu membuat baja paduan ini baik untuk bahan poros, dan roda gigi. Penambahan unsur *chromium* biasanya diikuti dengan penambahan *nikel*.

4) Molibdenum (Mo)

Dengan penambahan *molibdenum* akan memperbaiki baja karbon menjadi tahan terhadap suhu yang tinggi, liat, dan kuat. Baja paduan ini biasa digunakan sebagai bahan untuk membuat alat-alat potong, misalnya pahat.

5) Wolfram (W)

Dengan penambahan unsur ini memberikan pengaruh yang sama seperti pada penambahan *molibdenum* dan biasanya juga

dicampur dengan unsur *nikel* (Ni) dan *chromium* (Cr). Baja paduan ini memiliki sifat tahan terhadap suhu yang tinggi, karenanya banyak digunakan untuk bahan membuat pahat potong yang lebih dikenal dengan nama baja potong cepat (*HSS /High Speed Steel*).

6) Vanadium (V)

Dengan penambahan unsur ini akan memperbaiki struktur kristal baja menjadi halus dan tahan aus, terlebih bila dicampur dengan *chromium*. Baja paduan ini digunakan untuk membuat roda gigi, batang penggerak, dan sebagainya.

7) Kobalt (Co)

Dengan penambahan unsur ini akan memperbaiki sifat kekerasan baja meningkat dan tahan aus serta tetap keras pada suhu yang tinggi. Baja paduan ini banyak digunakan untuk konstruksi pesawat terbang atau konstruksi yang harus tahan panas dan tahan aus.

8) Tembaga (Cu)

Baja paduan yang memiliki ketahanan korosi yang besar diperoleh dengan penambahan tembaga berkisar 0,5 – 1,5 % tembaga pada 99,95 – 99,85 % Fe. Baja paduan ini disebut baja *Armco* yang digunakan untuk membuat konstruksi jembatan, menara-menara, dan lain-lain.

d. Unsur Campuran Lain Pada Baja

Disamping unsur karbon sebagai bahan campuran dasar dalam besi, juga terdapat unsur-unsur campuran lainnya yang jumlah persentasenya dikontrol. Menurut Amanto dan Daryanto (2003: 23) unsur-unsur tersebut yaitu:

1) Unsur Fosfor (P)

Unsur fosfor membentuk larutan besi *fosfida*. Fosfor dianggap sebagai unsur yang tidak murni dan jumlah kehadirannya di dalam baja dikontrol dengan cepat sehingga persentase maksimum unsur fosfor di dalam baja sekitar 0,05%.

2) Unsur Sulfur (S)

Unsur *sulfur* membahayakan larutan besi *sulfida* (besi belerang) yang mempunyai titik cair rendah dan rapuh. Besi *sulfida* terkumpul pada batas butir-butirannya yang membuat baja hanya didinginkan secara singkat, karena kerapuhannya. Hal itu juga membuat baja dipanaskan secara singkat, karena menjadi cair pada temperatur pengerjaan panas dan juga menyebabkan baja menjadi retak-retak. Kandungan sulfur harus dijaga serendah mungkin dibawah 0,05%.

3) Unsur silikon (Si)

Silikon membuat baja tidak stabil, tetapi unsur ini tetap menghasilkan lapisan *grafit* dan menyebabkan baja menjadi tidak kuat. Baja mengandung *silikon* sekitar 0,1 – 0,3%.

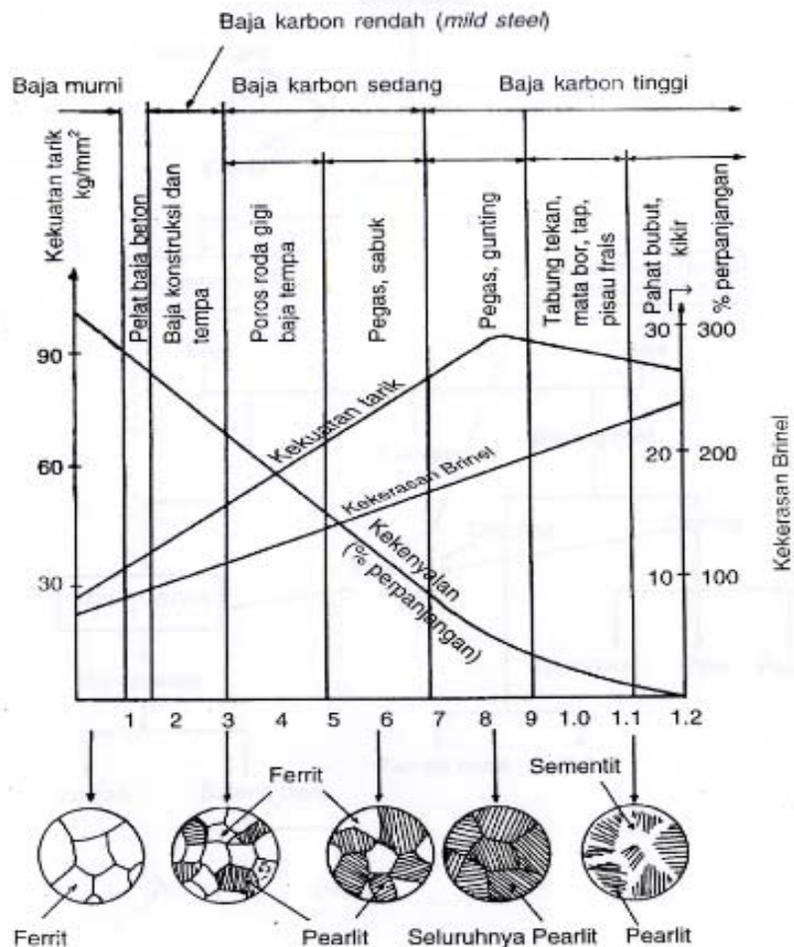
4) Unsur mangan (Mn)

Unsur *mangan* yang bercampur dengan *sulfur* akan membentuk mangan *sulfida* dan diikuti dengan pembentukan besi *sulfida*, tidak membahayakan baja dan mengimbangi sifat jelek dari *sulfur*, harus dikontrol. Dan mengandung mangan lebih dari 1%.

e. Pengaruh Penambahan Paduan Pada Baja.

Baja umumnya mengandung unsur lain yang ditambahkan untuk tujuan tertentu. Menurut W.O. Alexander (1991: 59) ada tiga fungsi pokok unsur pada paduan:

- 1) Sebagai substitusi atom besi dalam larutan padat atau dalam *sementit* untuk meningkatkan kekuatan, kekerasan, dan ketanguhan. Selain itu, elemen paduan dapat dimanfaatkan guna membatasi pertumbuhan butir dan kristal selama proses *transformasi* atau perlakuan panas.
- 2) Untuk menjamin terbentuknya *martensit* pada laju pendinginan, panas dari tengah benda logam dapat merambat ke permukaan dengan kecepatan tertentu.
- 3) Untuk membentuk *karbida* yang lebih keras dan tahan aus dari pada *sementit*, dan untuk mengatur penemperan *martensit*.



Gambar 1. Struktur dan sifat-sifat baja karbon sebelum pengerasan
(Amanto dan Daryanto, 2003: 24)

f. Baja Karbon Sedang S45C

Baja S45C termasuk baja karbon sedang dengan kadar karbon 0.30% karbon sampai dengan 0.60% karbon. Baja S45C Merupakan baja paduan yang berkualitas tinggi, mempunyai kualitas mekanik yang baik, dan mempunyai ketahanan yang cukup terhadap goresan, aplikasi yang baik untuk permesinan. Baja S45C ini dapat dilakukan

perlakuan panas dimana terdapat proses *hardening*, *annealing*, dan *tempering*. Dengan media pendingin berupa air, oli dan udara bebas, tergantung dari sifat yang diinginkan. Komposisi Kimia dari Baja karbon sedng S45C yaitu:

- 1) *Karbon* (C) 0,42% - 0,48%,
- 2) *Silicon* (Si) 0,15% - 0,35%,
- 3) *Mangan* (Mn) 0,6% - 0,9%,
- 4) *Fosfor* (P) 0,030% Max,
- 5) *Sulphur* (S) 0,035% Max.
- 6) Dengan kekuatan tarik 70 kg/mm².

Aplikasi penggunaan baja S45C antara lain adalah poros, pegas, Baut, mur, gear, dan komponen mesin lainnya.

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan didalam fase-fase yang terbentuk pada baja yaitu:

- 1) Ferrite atau besi alpha

Merupakan modifikasi struktur besi murni pada suhu ruang, dimana *ferit* menjadi lunak, tidak kuat dan ulet, maka ruang antara atom-atomnya adalah kecil dan padat sehingga atom karbon yang dapat tertampung hanya sedikit sekali.

- 2) Austenit atau besi gamma

Merupakan modifikasi dari besi murni dengan struktur yang memiliki jarak atom yang lebih besar dibandingkan dengan *ferit*. Meski demikian rongga-rongga pada struktur hampir tidak dapat

menampung atom karbon dan penyisipan atom karbon akan mengakibatkan tegangan dalam struktur sehingga tidak semua rongga dapat terisi, dengan kata lain daya larutnya jadi terbatas.

3) Sementit atau karbida besi

Adalah paduan besi karbon, dimana pada kondisi ini karbon melebihi batas larutan sehingga membentuk karbida besi, karbida pada *ferit* akan meningkatkan kekerasan pada baja sifat dasar *sementit* adalah sangat keras.

4) Perlit

Adalah suatu struktur besi yang merupakan campuran antara besi *ferrit* dan *sementit* yang tersusun secara berselang-selang. Ini dikarenakan *ferit* dan *karbida* terbentuk secara bersamaan dan keluarnya saling bercampur. Apabila laju pendingin dilakukan secara perlahan-lahan maka atom karbon dapat menempuh jarak lebih jauh, sehingga diperoleh bentuk *perlit* besar.

5) Martensit

Terjadi karena pendinginan yang sangat cepat sekali, pada reaksi ini tidak terjadi *difusi* (pelepasan karbon), tetapi terjadi pengerasan pergerakan atom (*dislokasi*). *Martensit* terbentuk karena *transformasi* tanpa *difusi* sehingga atom-atom karbon seluruhnya terperangkap. Keadaan ini menimbulkan *distorsi* pada struktur kristal *martensit*.

4. Perlakuan Panas Pada Baja (*Heat Treatment*)

Menurut Eddy (1994: 38),” Perlakuan panas ialah suatu cara yang mengakibatkan perubahan struktur bahan melalui penyolderan atau penyerapan panas, dari pada itu bentuk bahan tetap sama kecuali perubahan akibat regangan panas”.

Sedangkan menurut Syamsul Arifin (1984: 83), “Pengerjaan panas adalah dilakukan pada temperatur yang lebih tinggi dari pada temperatur pengkristalan kembali dari benda kerja (logam) yang dikerjakan, sehingga dapat menghasilkan bentuk yang berukuran besar tanpa menyebabkan pengurangan tegangan logam, dapat dilakukan dengan tempa”.

Dari pendapat para ahli di atas, dapat disimpulkan bahwa perlakuan panas adalah proses kombinasi pemanasan dan pendinginan dalam waktu tertentu, dengan tujuan untuk mendapat sifat mekanik tertentu, dan juga tujuannya untuk mengeraskan dan meliatkan bahan, keadaan ini terjadi karena pada pendinginan cepat mulai dari suhu tersebut terbentuk suatu struktur keras, yang disebut *martensit*. Menurut Hans kramer (1997: 63) tujuan perlakuan panas tersebut meliputi :

- a. Untuk memperoleh sifat-sifat sesuai dengan penggunaan, khususnya untuk mendapatkan kekerasan, kekuatan dan sifat liat yang dipergunakan, tujuan ini dapat dicapai melalui pengerasan, perbaikan sifat dan pormalan.
- b. Untuk memberikan kemungkinan pengerjaan yang optimal untuk pengerjaan pembentukan , caranya dengan pelunakan, dan pelunakan penuh.
- c. Untuk menghilangkan ketegangan pada benda kerja yang dapat timbul setelah pengelasan, pengerjaan pembentukan-panas atau pembentukan-dingin, dalam hal ini diterapkan proses pembebasan tegangan.

Dikutip dari Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan (2003: 47), sifat yang berhubungan dengan maksud dan tujuan perlakuan panas tersebut meliputi:

- a. Meningkatkan kekuatan dan kekerasannya.
- b. Mengurangi tegangan.
- c. Melunakkan.
- d. Mengembalikan pada kondisi normal akibat pengaruh pengerjaan sebelumnya.
- e. Menghaluskan butir kristal yang akan berpengaruh terhadap keuletan bahan.

Heat Treatment sederhana yang biasa dikenal selalu diawali dengan pemanasan (*Heating*) kemudian diikuti dengan pendinginan cepat (*Quenching*).

Proses pekerjaan panas terdiri dari beberapa jenis yaitu:

- a. Hardening (Pengerasan)

Eddy mengemukakan (1994: 45), “Pengerasan ialah perlakuan panas terhadap baja dengan sasaran meningkatkan kekerasan alami baja, dan menuntut pemanasan benda kerja menuju suhu pengerasan, jangka waktu perhentian yang memadai pada suhu pengerasan, selanjutnya kecepatan penyejukan kritis.” *Hardening* atau pengerasan merupakan salah satu proses perlakuan panas yang sangat penting dalam produksi komponen-komponen mesin. Untuk mendapatkan struktur baja yang halus, keuletan, kekerasan yang diinginkan, dapat

diperoleh melalui proses ini.

Hardening adalah proses pemanasan baja sampai suhu di daerah atau di atas daerah kritis disusul dengan pendinginan yang cepat. Untuk proses ini dilakukan dengan input panas dan transfer panas dalam waktu pendek. Tujuan *hardening* untuk merubah struktur baja sedemikian rupa sehingga diperoleh struktur *martensit* yang keras. Prosesnya adalah baja dipanaskan sampai suhu tertentu antara 770-830° C (tergantung dari kadar karbon) kemudian ditahan pada suhu tersebut, beberapa saat kemudian didinginkan secara mendadak dengan mencelupkan dalam air, oli atau media pendingin yang lain. Dengan pendinginan yang mendadak, tidak ada waktu yang cukup bagi *austenit* untuk berubah menjadi *perlit* dan *ferit* atau *perlit* dan *sementit*. Pendinginan yang cepat menyebabkan *austenit* berubah menjadi *martensit*. Hasilnya kekerasan meningkat.

Pada setiap perlakuan panas, laju pemanasan merupakan faktor yang penting. Panas merambat dari luar kedalam dengan kecepatan tertentu bila pemanasan terlalu cepat, bagian luar akan jauh lebih panas dari bagian dalam oleh karena itu kekerasan di bagian dalam benda akan lebih rendah dari pada bagian luar, dan ada nilai batas tertentu. Namun pada proses pendinginan menurunkan suhu permukaan dengan cepat, yang diikuti dengan penurunan suhu didalam benda tersebut sehingga diperoleh lapisan keras dengan ketebalan tertentu.

b. Annealing (Pelunakan)

Menurut Hans Kramer (1997: 71), “Proses pelunakan diterapkan untuk mencapai struktur yang selunak mungkin. Pada baja, pelunakan bertujuan untuk memperoleh persyaratan yang baik untuk pengerjaan lanjut, dan mempermudah sifat mampu kerasnya”.

Selain untuk tujuan pengerasan perlakuan panas dapat dilakukan untuk tujuan pelunakan. Hal ini diperlukan untuk perlakuan baja-baja yang keras, sehingga dapat dikerjakan dengan mesin. Disamping itu juga pelunakan dilakukan untuk tujuan meningkatkan keuletan dan mengurangi tegangan dalam yang menyebabkan material berperilaku getas. Tahapan dari proses *annealing* ini dimulai dengan memanaskan logam (paduan) sampai temperature tertentu, menahan pada temperature tertentu tadi selama beberapa waktu tertentu agar tercapai perubahan yang diinginkan lalu mendinginkan logam atau paduan tadi dengan laju pendinginan yang cukup lambat.

Dalam proses ini baja yang tadi *martensit* dikembalikan ke *austensit* sepenuhnya menjadi struktur lembut yang berisi *ferrit*. Pemanasan yang diperpanjang dan pendinginan yang diperlambat akan menyebabkan butir masing-masing individu tumbuh ke dalam masing-masing struktur dan memperbesar serat-serat yang mana menjadi halus dan sangat lunak. Sifat-sifat baja yang disebut diatas dapat diartikan bahwa baja harus dipanaskan melalui suhu pengkristalan kembali untuk membebaskan tegangan-tegangan dalam baja, dan

mempertahkannya untuk membuat sedikit pertumbuhan butiran dan struktur lapisan *austenit*. Dan didinginkan secara perlahan untuk membuat suatu struktur *perlit*. Tujuan proses *annealing* : Melunakkan material logam, menghilangkan tegangan dalam atau sisa, memperbaiki butir-butir logam.

c. Normalizing (Penormalan)

Guna memperbaiki dan menghaluskan struktur butiran dan membentuk struktur mikro agar terbentuk butir halus dan seragam, sehingga pengaruh dari pengerjaan dingin atau panas dapat dihilangkan, maka dilakukan *normalizing*. Menurut Hans Kramer (1997: 71), “Melalui penormalan dihasilkan struktur berbutiran halus dengan butiran berbentuk bulat, proses ini dilakukan untuk menghilangkan struktur yang diakibatkan oleh penempaan, pengerolan, penuangan, dan pekerjaan penarikan. Begitu juga butiran kasar dan struktur pengerasan serta struktur pengelasan yang tidak merata”. *Normalizing* merupakan proses perlakuan panas yang bertujuan untuk memperhalus dan, menyeragamkan ukuran serta distribusi ukuran butir logam.

Pengerjaan ini dilakukan dengan memanaskan baja hingga menjadi fasa *austenit* penuh dan didinginkan di udara, hingga mencapai suhu kamar. Fasa yang dihasilkan berstruktur *ferrite* dan *pearlite* tergantung komposisi unsur karbon. *Normalizing* pada umumnya menghasilkan struktur yang halus, sehingga baja dengan

komposisi kimia yang sama akan memiliki kekerasan yang baik. *Normalizing* dapat juga dilakukan pada benda hasil tempa untuk menghilangkan tegangan dalam dan menghaluskan butiran kristalnya. Sehingga sifat mekanisnya menjadi lebih baik. *Normalizing* dapat juga menghomogenkan struktur mikro sehingga dapat memberi hasil yang bagus dalam proses *hardening*, sehingga umumnya sebelum dihardening baja harus di *normalizing* terlebih dahulu. Pada *normalizing* pemanasan sebaiknya tidak terlalu tinggi karena butir kristal *austenit* yang terjadi akan terlalu besar, sehingga pada pendinginan cepat *ferit* akan membentuk struktur yang berupa pelat-pelat *ferrit* yang sejajar, yang tumbuh didalam butir kristal *austenit* kasar yang akan menurunkan keuletan/ketangguhan suatu baja. Pada pendinginan yang agak cepat inti *ferrit* tidak tumbuh secara normal menjadi butir-butir kristal, tetapi akan tumbuh dengan cepat membentuk *ferrit* didalam butir *austenit*.

d. Tempering

Perlakuan untuk menghilangkan tegangan dalam dan menguatkan baja dari kerapuhan disebut dengan *tempering*. Pada saat tempering dapat terjadi proses *difusi* yaitu karbon dapat melepaskan diri dari *martensit* berarti keuletan (*ductility*) dari baja naik, akan tetapi kekuatan tarik menurun.

Menurut Amanto dan Daryanto (2003: 80). "*Tempering* didefinisikan sebagai memanaskan baja kembali pada suhu *tempering*,

setelah dilakukan pengerasan (*Hardening*) untuk memperbaiki kekuatan dan kekenyalannya, yang dilanjutkan dengan proses pendinginan”.

Ada beberapa hal yang dijadikan sebagai alasan mengapa baja perlu *ditempering* diantaranya:

- 1) Mengurangi tegangan sisa.
- 2) Meningkatkan kekerasan.
- 3) Meningkatkan keuletan
- 4) Meningkatkan ketangguhan

Jadi secara sederhana dapat dikatakan bahwa *tempering* adalah pemanasan kembali pada baja, yang bertujuan untuk menurunkan kekerasan, pendinginan dilakukan di udara. Dalam proses *tempering* atom-atom akan berganti menjadi suatu campuran fasa-fasa *ferrit* dan *sementit* yang stabil. Melalui *tempering* kekuatan tarik akan menurun sedang keuletan dan ketangguhan akan meningkat. Untuk proses pendinginan setelah *hardening* dilakukan mendadak, sedangkan setelah *tempering* pendinginan dilakukan dengan udara. Proses pendinginan ini jelas akan berakibat berubahnya struktur logam yang didinginkan dengan udara.

Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan, melalui proses *tempering* kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekuatan tarik akan turun sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Meskipun

proses ini menghasilkan baja yang lebih lunak, proses ini berbeda dengan proses *annealing*, karena di sini sifat-sifat fisis dapat dikendalikan dengan cermat. Dalam proses ini akan mengurangi daya reang dan kekerasannya sehingga baja lebih sesuai untuk kebutuhan peralatan.

Menurut W.O. Alexander (1991: 59). “Pada suhu 200°C sampai 300°C laju *difusi* lambat hanya sebagian kecil karbon dibebaskan, hasilnya sebagian struktur tetap keras tetapi mulai kehilangan kerapuhannya. Di antara suhu 500°C dan 600°C *difusi* berlangsung lebih cepat, dan atom karbon yang ber*difusi* di antara atom besi dapat membentuk *sementit* Perubahan sifat mekanis akibat temper *martensit* baja karbon 0,4% C”.

Menurut tujuannya proses *tempering* dibedakan sebagai berikut :

- 1) *Tempering* pada suhu rendah (150° – 300°C)

Tempering ini hanya untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan kerapuhan dari baja, biasanya untuk alat-alat potong, mata bor dan sebagainya.

- 2) *Tempering* pada suhu menengah (300° - 550°C)

Tempering pada suhu sedang bertujuan untuk menambah keuletan dan kekerasannya sedikit berkurang. Proses ini digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya palu, pahat, pegas.

3) *Tempering* pada suhu tinggi (550° - 650°C)

Tempering suhu tinggi bertujuan memberikan daya keuletan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi agak rendah misalnya pada roda gigi, poros batang penggerak dan sebagainya. Untuk melihat suhu pada *tempering* dapat juga dilihat pada warna pada saat pemanasan seperti yang terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Suhu Penyepuhan

| Warna penyepuhan | Suhu Penyepuhan °C |
|------------------|--------------------|
| Kuning muda | 230 |
| Kuning tua | 240 |
| Cokelat | 250 |
| Cokelat merah | 260 |
| Merah | 270 |
| Merah tua | 280 |
| Biru | 300 |

Sumber: (Amanto dan Daryanto 2003: 81)

Tempering dengan temperatur tinggi pemanasan dilakukan berkisar antara 450-550⁰C adapun fungsi dari pemanasan ini adalah untuk menambah kekuatan, yang biasanya disebut dengan penyepuhan keras. Penyepuhan keras adalah pemanasan bahan pada suhu itu dengan beberapa lama waktunya kemudian didinginkan dengan cepat. Sedangkan tujuan dari penyepuhan ini adalah untuk meningkatkan kualitas bahan-bahan tersebut.

Perlakuan panas dapat mengubah sifat baja dengan cara mengubah ukuran dan bentuk butir-butirannya, juga mengubah unsur pelarutnya dalam jumlah yang kecil. Bentuk butirannya dapat diubah dengan cara

dipanaskan pada suhu di atas suhu pengkristalan kembali. Ukuran butirannya dapat dikontrol melalui suhu dan lama pemanasan, serta kecepatan pendinginan baja setelah dipanaskan.

1) Perubahan Bentuk Dan Ukuran Butiran Baja

Menurut Amanto dan Daryanto (2003: 63):

Perubahan bentuk dan ukuran butiran baja dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- a) Pengerjaan Dingin
Akibat pengerjaan dingin adalah terjadinya perubahan dalam butiran baja dan menaikkan kekerasan dan kekuatannya, tetapi mengurangi kekenyalan baja. Proses ini disebut pengerjaan pengerasan (*work hardening*).
- b) Pengerjaan panas
Dengan cara perlakuan panas (*heat treatment*) dapat dilakukan perubahan ukuran dan bentuk butir-butiran baja.

2) Perubahan Struktur Baja

Perubahan struktur suatu sistem pencampuran logam hanya akan terjadi apabila suatu campuran didinginkan secara perlahan-lahan. Kecepatan pendinginan akan mencegah pencampuran untuk mencapai kondisi yang tidak seimbang. Menurut Amanto dan Daryanto (2003: 67), Sistem campuran akan saling bereaksi terhadap perlakuan panas yang menghasilkan suatu kondisi yang tidak seimbang yang terdiri dari dua jenis yaitu:

- a) Sistem yang mempunyai sifat dapat larut terbatas sewaktu dalam keadaan padat tetapi larutan dapat naik dengan pemanasan
- b) Sistem yang memiliki sifat dapat larut terbatas sewaktu dalam keadaan padat tetapi larutan akan masuk ke dalam larutan padat secara komplet sewaktu proporsi dan suhunya sesuai juga terjadi perubahan.

3) Pengerasan baja

Pengerasan yang dilakukan secara langsung adalah baja dipanaskan untuk menghasilkan struktur *austenit* dan selanjutnya didinginkan. Pembentukan sifat-sifat dalam baja tergantung dalam kandungan karbon, temperatur pemanasan, sistem pendinginan, serta bentuk dan ketebalan bahan.

5. Media Pendingin

Hans Kramer (1997: 135), mengemukakan, “Untuk menjadikan baja mampu-keras mencapai suhu pengerasan yang tepat, baja dipanaskan didalam dapur pemanas. Pendinginannya dilakukan didalam air, minyak mineral ataupun udara. Pemilihan bahan pendingin yang ditentukan oleh kecepatan pendinginan kritis, baja yang akan dikeraskan dan oleh kekerasan permukaan yang diinginkan”.

Kekerasan baja hasil *quenching* (pendinginan cepat) akan meningkat, disebabkan terbentuknya struktur *martensit*, semakin banyak unsur karbon, maka struktur *martensite* yang terbentuk juga semakin banyak, karena struktur *martensit* terbentuk dari fase *austenite* yang didinginkan secara cepat. Karena atom karbon terjebak pada saat didinginkan secara cepat (atom karbon adalah unsur utama yang membuat baja keras). Ketika baja didinginkan secara cepat/drastis, maka atom Karbon tidak sempat kembali keluar. Ini membuat Karbon terjebak di dalam baja dan membuat kekerasan baja sangat tinggi.

Laju pendinginan yang terjadi pada material tergantung dari beberapa faktor, yaitu media pendingin, temperatur media pendingin dan sirkulasi pada media pendingin. Media pendingin ada beberapa macam yaitu media air, minyak atau oli, udara dan sebagainya.

Pendinginan yang digunakan untuk proses penyepuhan dan perlakuan panas menurut B.J.M Boemer (1994: 21), “Untuk mendinginkan bahan dikenal berbagai media pendingin untuk pendinginan yang berat bahan yang didinginkan itu hampir seluruhnya disirkulasikan”.

Dikutip dari Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan (2003: 50), Media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan baja bermacam-macam. Berbagai bahan pendingin yang digunakan dalam proses perlakuan panas antara lain :

a) Air

Air adalah media yang paling banyak digunakan untuk pendinginan, karena biayanya yang murah, dan mudah digunakan serta pendinginannya yang cepat. Biasanya ke dalam air tersebut dilarutkan garam dapur sebagai usaha mempercepat turunnya temperatur benda dengan tujuan untuk memperoleh kekerasan dan kekuatan yang baik. Air memberikan pendinginan yang sangat cepat, yang menyebabkan tegangan dalam, *distorsi*, dan retakan.

b) Oli

Oli sebagai media pendingin lebih lunak jika dibandingkan dengan air. Digunakan pada material yang kritis, antara lain material yang mempunyai bagian tipis atau ujung yang tajam. Karena oli lebih lunak, maka kemungkinan adanya tegangan dalam, *distorsi*, dan retakan kecil. Oleh karena itu medium oli tidak menghasilkan baja sekeras yang dihasilkan pada medium air. dan dapat memberikan lapisan karbon pada kulit (permukaan) benda kerja yang diolah.

c) Udara

Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat jika dibandingkan dengan media oli maupun air. Untuk keperluan tersebut udara yang disirkulasikan ke dalam ruangan pendingin dibuat dengan kecepatan yang rendah. Udara sebagai pendingin akan memberikan kesempatan kepada logam untuk membentuk kristal – kristal dan kemungkinan mengikat unsur – unsur lain dari udara. Pendinginan udara pada umumnya digunakan pada baja yang mempunyai kandungan paduan yang tinggi.

Kemampuan suatu jenis media dalam mendinginkan spesimen bisa berbeda-beda, perbedaan kemampuan media pendingin di sebabkan oleh temperatur, kekentalan, kadar larutan dan bahan dasar media pendingin.

6. Pengujian Kekerasan

Menurut Tata Surdia (2005: 31) :

Pengujian kekerasan adalah satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi. Pengujian yang paling banyak dipakai ialah dengan menekankan penekan tertentu kepada benda uji dengan beban tertentu dan dengan mengukur ukuran bekas penekan yang terbentuk di atasnya, cara ini dinamakan cara kekerasan penekan.

Menurut Eddy (1994: 195) menyatakan, “Kekerasan ialah penolakan suatu bahan melawan suatu desakan suatu benda lainnya. Pengujian kekerasan memiliki keunggulan berupa kenyataan bahwa disini benda yang diuji tidak dihancurkan”.

Sedangkan menurut Haroen (1984: 46) menyatakan, “Kekerasan adalah tahanan yang dilakukan oleh bahan terhadap desakan kedalam yang tetap, disebabkan oleh sebuah alat pendesak dengan bentuk tertentu

dibawah pengaruh gaya tertentu, suatu desakan kecil menunjukkan kekerasan yang besar”.

Di dalam aplikasi manufaktur, material dilakukan pengujian dengan dua pertimbangan yaitu untuk mengetahui karakteristik suatu material baru dan melihat mutu untuk memastikan suatu material memiliki spesifikasi kualitas tertentu.

a. Pengukuran Kekerasan Brinell

1) Penentuan kekerasan

B.J.M. Beumer (1994: 25) mengatakan, “Pada pengukuran kekerasan menurut *Brinell* peluru baja yang disepuh dengan garis-tengah D yang ditentukan dengan gaya tertentu F , Selama beberapa waktu t , ditekan kedalam bahan. Setelah penyisihan peluru garis-tengah d dari bekas-tetap diukur”. Benda uji itu harus didukung secara merata oleh bidang pendukung yang cukup tebal, sebab kalau tidak demikian, kekerasan bidang pendukung itu ikut terukur. Haroen (1984: 47). Mengemukakan, “Diameter pendesakannya diukur dan kekerasan (HB) dihitung dari perbandingan antara gaya F dan luas A dari segmen bola dari pendesakan yang dihitung”.

Jika diameter bola baja 10 mm maka beban yang digunakan (pada mesin uji) adalah 3000 Kg sedang jika diameter bola bajanya 5 mm maka beban yang digunakan pada mesin uji adalah 750 Kg, sedangkan untuk pengujian yang dilakukan dengan

menggunakan bola baja berdiameter 2,5 mm dengan beban sebesar 187,5 Kg. Diameter bola dengan gaya yang di berikan mempunyai ketentuan, yaitu:

- a) Jika diameter bola terlalu besar dan gaya yang diberikan terlalu kecil maka akan mengakibatkan bekas lekukan yang terjadi akan terlalu kecil dan mengakibatkan sukar diukur sehingga memberikan informasi yang salah.
- b) Jika diameter bola terlalu kecil dan gaya yang diberikan terlalu besar maka dapat mengakibatkan diameter bola pada benda yang diuji besar (ambusnya bola) sehingga mengakibatkan harga kekerasannya menjadi salah.

Pengujian kekerasan pada *Brinell* ini biasa disebut *BHN* (*Brinell Hardness Number*). Pada pengujian *Brinell* akan dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut:

- a) Kehalusan permukaan.
- b) Letak benda uji pada bola baja (*indentor*).
- c) Adanya pengotor pada permukaan.

Pengujian *Brinell* biasa dinyatakan dalam HB, Mengenai lama pengujian itu tergantung pada material yang akan diuji. Untuk semua jenis baja lama pengujian adalah 15 detik sedang untuk material bukan baja lama pengujian adalah 30 detik. Pengujian *brinell* diperuntukan bagi material yang memiliki kekerasan *brinell* sampai 400 HB, jika lebih dari nilai tersebut

maka disarankan menggunakan metode pengujian *Rockwell* atau *Vickers*.

2) Peralatan yang digunakan

a) Mesin uji kekerasan

Mesin yang digunakan untuk uji kekerasan dengan singkat disebut dengan mesin uji kekerasan. Mesin ini ada yang dijalankan dengan tangan dan ada yang dijalankan dengan motor listrik. pengaturan kecepatan jalannya beban penuh dapat dilakukan dengan cara mekanik atau hidrolis.

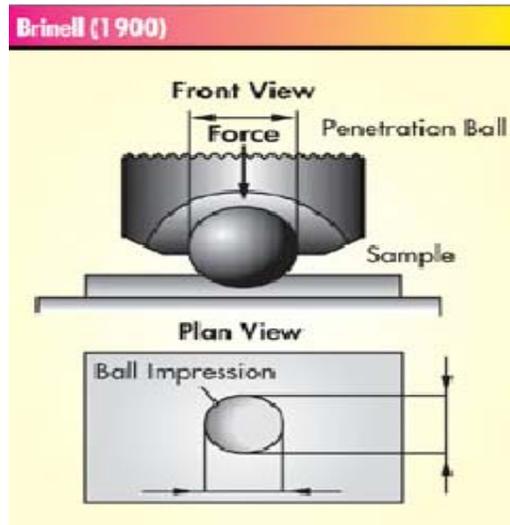


Gambar 2. Alat uji kekerasan

b) Penekan

Macam penekan yang digunakan antara lain:

- (1) Bola baja untuk kekeran *Brinell* sampai 400 kg/mm^2 .
- (2) Bola baja *hultrogen* untuk kekerasan *Brinell* sampai 600 kg/mm^2 .
- (3) Bola *kabrida wolfram* untuk kekerasan *Brinell* sampai 725 kg/mm^2 .



Gambar 3. Pengujian Brinell

c) Mikroskop ukur

Bekas penekanan terutama pada material yang keras adalah kecil, sehingga pengukuran diameter hanya dapat lebih teliti dengan menggunakan mikroskop ukur.

B. Penelitian Yang Relevan

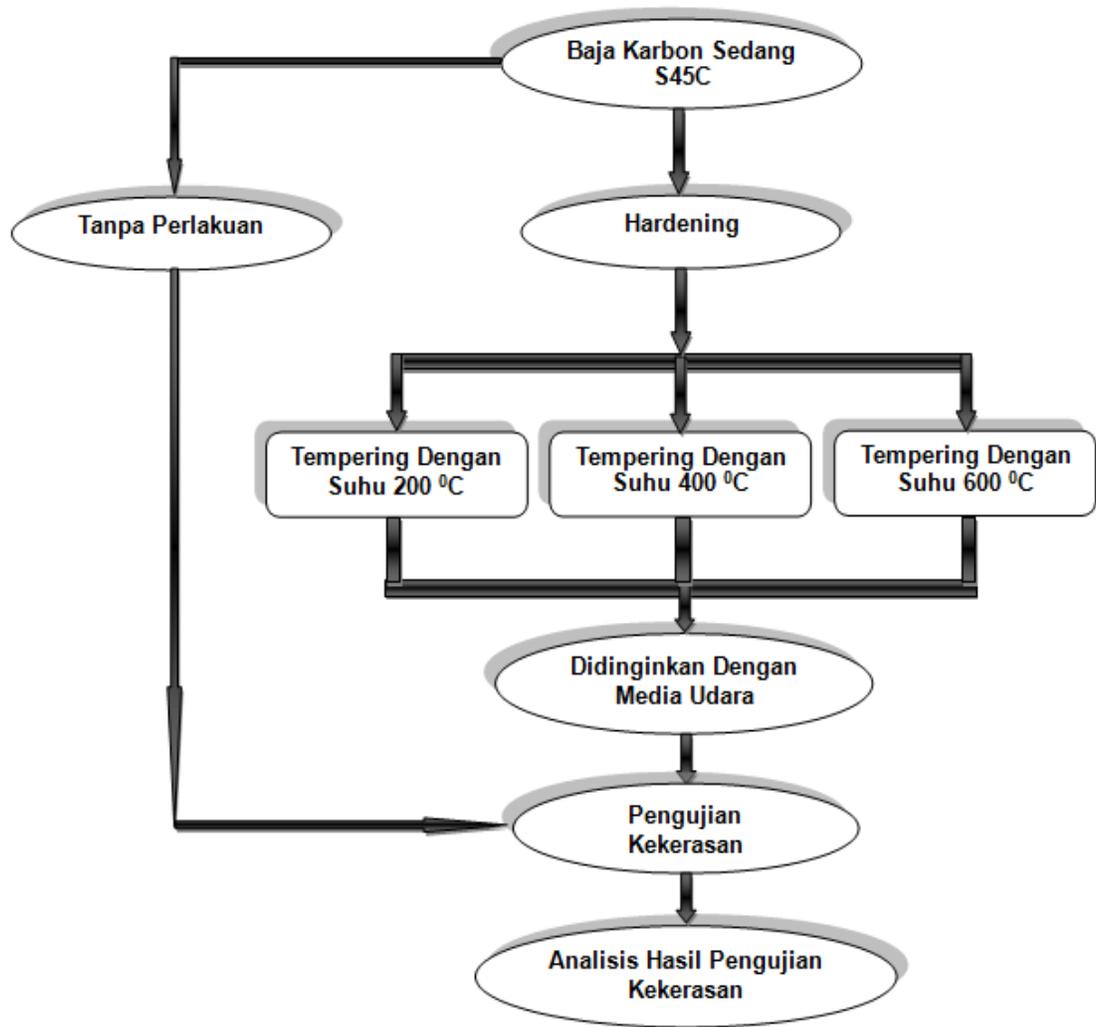
Untuk mendukung atau mempertegas teori-teori yang telah di kemukakan dalam kajian teori ini, penulis mengambil kesimpulan dari penelitian-penelitian yang penulis anggap relevan dengan penelitian ini.

1. Irwan (2010) meneliti tentang pengaruh temperatur terhadap kekerasan baja aisi 4340 dan menyimpulkan bahwa, terjadi peningkatan kekerasan pada *spesimen* yang dihardening yaitu 430 BHN, bila dibandingkan dengan *spesimen* yang tidak diberi perlakuan yang hanya memiliki kekerasan 326 BHN.

2. Joko Sepriwan. GE (2013) meneliti tentang Perilaku sifat baja karbon sedang dengan pembakaran Arang kayu dan arang tempurung kelapa, menyimpulkan bahwa, berdasarkan analisa data yang dilakukan, diketahui adanya peningkatan kekerasan pada baja karbon yang di bakar dengan arang kayu sebesar 182,4 BHN dan arang tempurung kelapa 184,78 BHN di banding kan dengan tanpa perlakuan yaitu 178 BHN.

C. Kerangka Konseptual

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui Seberapa besar pengaruh temperatur *tempering* terhadap kekerasan pada baja karbon sedang S45C. Pada penelitian ini baja karbon sedang S45C setelah proses *tempering* dengan temperatur yang berbeda-beda, kemudian diuji kekerasannya. Hasil dari pengujian kekerasan tersebut dianalisis untuk mendapatkan data kekerasan dari baja karbon S45C yang *ditempering* dengan temperatur yang berbeda-beda. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram berikut.



Gambar 4. Kerangka Konseptual.

D. Pertanyaan Penelitian

Bertitik tolak dari tujuan yang ingin dicapai dan beberapa asumsi penelitian yang telah dikemukakan, maka peneliti mengajukan pertanyaan peneliti sebagai berikut:

1. Berapa persen besar pengaruh temperatur *tempering* terhadap kekerasan pada baja karbon sedang S45C.

BAB V

PENUTUP

Pada bagian terdahulu telah dibahas secara luas yang berkaitan dengan analisis terhadap data penelitian dan pembahasannya. Pada bab ini akan dikemukakan tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan rekomendasi.

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data penelitian yang telah dibahas pada bagian muka, yaitu pengaruh temperatur *tempering* terhadap kekerasan pada baja karbon sedang S45C, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan data hasil pengujian *brinell* yang digambarkan dalam bentuk tabel dan grafik di atas, dapat diketahui adanya peningkatan kekerasan baja karbon sedang S45C yang *ditempering* dengan tempertur berbeda-beda. Setelah data di analisa yang mana rata-rata kekerasan baja yang *ditempering* dengan:
 - a. Temperatur 200⁰C yang memiliki nilai kekerasan 403,99 *BHN* atau sekitar 132,63%,
 - b. Temperatur 400⁰C yang memiliki nilai kekerasan 356,77 *BHN*, atau sekitar 105,44% dan,
 - c. Temperatur 600⁰C yang memiliki nilai kekerasan 298,44 *BHN*, atau sekitar 71,85%.

Dibandingkan dengan rata-rata *specimen* awal tanpa perlakuan yang memiliki nilai kekerasan 173,66 *BHN*.

B. Rekomendasi

Berdasarkan hasil-hasil yang diperoleh dari penelitian ini, pada prinsipnya masih terdapat kekurangan. Untuk ini perlu beberapa hal yang akan penulis rekomendasikan akan penelitian yang lebih sempurna dan lebih memuaskan, hal ini adalah:

1. Perlu dilakukannya pengujian untuk variasi suhu diatas 600⁰C yang penulis belum lakukan, untuk mengetahui perubahan sifat mekanisnya.
2. Untuk mendapatkan data yang valid sebaiknya peneliti lain melakukan pengujian struktur mikro yang terbentuk setelah proses *tempering* dengan temperatur yang berbeda-beda pada baja karbon S45C.
3. Ketelitian dalam proses persiapan *spesimen*, mulai dari permukaan yang datar, halus, dan bersih, penggunaan alat ukur kekerasan dan pembacaannya sangat diutamakan, karena hal ini dapat berpengaruh terhadap data hasil pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, W.O. dkk. (eds). (1991). *Dasar Metalurgi Untuk Rekayasawan*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Amanto, Hari dan Daryanto. (2003). *Ilmu Bahan*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Anas Sudiyono. (2003). *Pengantar Statistik Pendidikan*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Bambang Tri Wibowo. (2006). *Pengaruh Temper Dengan Quenching Media Pendingin Olli Mesran SAE 40 Terhadap sifat Fisis dan Mekanis Baja*. Semarang. Universitas Negeri Semarang.
- Baumer ing, B.J.M.. (1994). *Ilmu Bahan Logam Jilid I*. Jakarta: PT. Bhratara Niaga Media.
- Daswarman. (2012). *Serial Material Teknik Dasar-Dasar Pemilihan Bahan*. Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
- Direktorat Proyek Pengembangan Kurikulum. (2003). *Proses Pembuatan Besi Dan Baja*. Departemen Pendidikan Nasional.
- Djaprie, Sriati (1999). *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material* (R.E. Smallman dan R.J. Bishop. Terjemahan). Jakarta: Erlangga.
- Eddy D. Hardjapamekas. (1994). *Pengetahuan Bahan Dalam Penegrjaan Logam* (Schonmetz. Terjemahan). Bandung: Percetakan Angkasa.
- Gunawan Dwi Haryadi. (2005). *Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan Struktur Mikro Dan Kekuatan Tarik Pada Baja K-460*. Volume 7 Nomor 3 Juli 2005.
- Haroen. (1984). *Teknologi Untuk Bangunan Mesin Bahan-Bahan 1* (G.L.J Van Vliet. Terjemahan). Jakarta: Erlangga.
- Kramer, Hans dan Scharnagl, johann. (1997). *Pengetahuan Bahan Untuk Industri*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Riduwan. (2012). *Belajar Mudah Penelitian*. Bandung: Alfabeta.
- Sugiyono. (2010). *Metode Penelitian Kuantitatif kualitatif dan R & D*. Bandung: Alfabeta.